

**Binding nanotube to polymer, useful for making microelectronic components, by derivatizing tube with reactive group that bonds covalently to polymer**

**Publication number:** DE10038125

**Publication date:** 2002-03-07

**Inventor:** UNGER EUGEN DR (DE); WEBER WERNER DR (DE)

**Applicant:** INFINEON TECHNOLOGIES AG (DE)

**Classification:**

**- International:** C08G61/12; H01B1/12; C08G61/00; H01B1/12; (IPC1-7): C08J7/12

**- European:** C08G61/12D; H01B1/12H; Y01N4/00; Y01N6/00

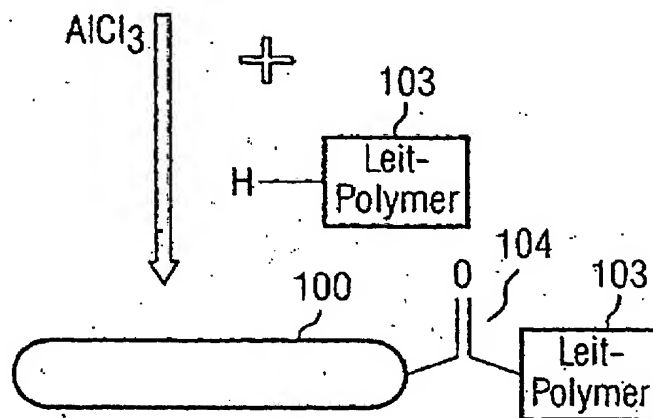
**Application number:** DE20001038125 20000804

**Priority number(s):** DE20001038125 20000804

Report a data error here

**Abstract of DE10038125**

Method for binding a nanotube (I) to a polymer (II) comprises derivatizing an end of (I) with a chemically reactive group and reacting this with (II) so as to form a covalent bond between (I) and (II). Independent claims are also included for the following: (a) polymer to which a (I) is covalently bonded; and (b) microelectronic component that includes the polymer of (a).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



DE 100 38 125 A 1

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 38 125 A 1

51 Int. Cl. 7:  
C 08 J 7/12

21 Aktenzeichen: 100 38 125.1  
22 Anmeldetag: 4. 8. 2000  
43 Offenlegungstag: 7. 3. 2002

71 Anmelder:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE  
74 Vertreter:  
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

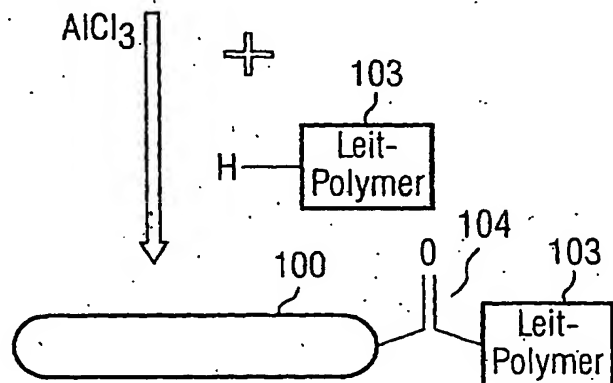
72 Erfinder:  
Unger, Eugen Dr., 86161 Augsburg, DE; Weber,  
Werner Dr., 80637 München, DE  
56 Entgegenhaltungen:  
WO 97 32 571  
J.E.Riggs et al., J. Am. Chem. Soc., 2000, 122,  
5879-80;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Polymer, an dem eine Nanoröhre kovalent gebunden ist, Mikroelektronisches Bauelement aufweisend ein Polymer, und Verfahren zum Binden einer Nanoröhre an einem Polymer

57 Ein Verfahren zum Binden einer Nanoröhre an einem Polymer weist folgende Schritte auf:  
- Derivatisieren eines Endes der Nanoröhre mit einer chemisch reaktiven Gruppe;  
- Reaktion der so derivatisierten Nanoröhre mit einem Polymer, derart, dass zwischen der Nanoröhre und dem Polymer über die chemisch reaktive Gruppe eine kovalente Bindung gebildet wird.



DE 100 38 125 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Nanoröhren. Insbesondere betrifft die Erfindung Nanoröhren, die an leitfähige Polymere gebunden sind.

[0002] Kohlenstoff-Nanoröhren sowie Verfahren zu deren Herstellung sind aus [1] bekannt. Eine typische Single Wall-Nanoröhre hat einen Durchmesser von ungefähr 1 nm, wobei die Länge einer Nanoröhre mehrere hundert Nanometer betragen kann. Die Enden einer Nanoröhre sind typischerweise mit jeweils einem halben Fullerenmolekülteil gekappt.

[0003] Kohlenstoff-Nanoröhren sind aromatische Strukturen. Ihr ausgedehntes  $\pi$ -Elektronensystem zusammen mit ihrer typischen Geometrie verleiht den Nanoröhren eine elektrische Leitfähigkeit, die sie als besonders geeignet für den Aufbau von Nanoschaltkreisen erscheinen lassen. Mehrere Grundsatzexperimente haben die Steuerbarkeit dieser Leitfähigkeit der Nanoröhren belegt. Bislang hat man dem Durchmesser und der Chiralität einer Nanoröhre eine wichtige Rolle für den Charakter der Leitfähigkeit zuerkannt.

[0004] Weiterhin ist es bekannt, durch Dotierung einer Kohlenstoff-Nanoröhre mit Bornitrid die Leitfähigkeit herabzusetzen [2].

[0005] Die Leitfähigkeit der Nanoröhre kann weiterhin durch Anlegen eines elektrischen Feldes beeinflusst werden (sogenannter Feldeffekt), wie es in [3] beschrieben worden ist.

[0006] Aufgrund der Leitfähigkeit von Nanoröhren sowie aufgrund der Steuerbarkeit dieser Leitfähigkeit in der oben genannten Weise werden Nanoröhren für eine große Anzahl von Anwendungen diskutiert, zum Beispiel für die Verbindungstechnik in integrierten Schaltkreisen, für Bauelemente in der Mikroelektronik sowie für Elektronen-Emitter.

[0007] Problematisch bei der Untersuchung der Leitfähigkeit von Nanoröhren ist, dass die elektrische Kontaktierung von Nanoröhren oft schwierig und nicht reproduzierbar ist. Dies führt dazu, dass die bei den Untersuchungen ermittelten Messergebnisse oft kaum eine verlässliche Aussagekraft besitzen.

[0008] Es besteht daher das Bedürfnis, die Kontaktierung zwischen einer Nanoröhre und einem Substrat in einer solchen Weise sicherzustellen, dass ein sich daraus ergebender Messwert für die elektrische Leitfähigkeit der Nanoröhre reproduzierbar wird.

[0009] Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, eine sichere Bindung zwischen einer Nanoröhre und einem Substrat zu schaffen, die eine reproduzierbare Kontaktierung der Nanoröhre gewährleistet, und daher zuverlässige elektrische Messergebnisse ermöglicht.

[0010] Das Problem wird gelöst durch ein Polymer, an dem eine Nanoröhre kovalent gebunden ist, ein Mikroelektronisches Bauelement aufweisend ein Polymer, und ein Verfahren zum Binden einer Nanoröhre an einem Polymer mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen.

[0011] Bei einem Verfahren zum Binden einer Nanoröhre an einem Polymer wird in einem ersten Schritt ein Ende der Nanoröhre mit einer chemisch reaktiven Gruppe versehen und in einem zweiten Schritt die so derivatisierte Nanoröhre mit einem Polymer derart in umgesetzt, dass zwischen der Nanoröhre und dem Polymer über die chemisch reaktive Gruppe eine kovalente Bindung gebildet wird.

[0012] Das oben genannte Substrat kann ein elektrisch leitfähiges Polymer sein. Solche elektrisch leitfähigen Polymere zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine konjugierte Anordnung von Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen besitzen. Hierfür sind im Rahmen der Erfindung typische

Beispiele Polypyrrol, Polyphenylen, Polythiophen oder Polyacetylen.

[0013] Die Nanoröhre kann beispielsweise eine Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine mit Bornitrid dotierte Nanoröhre sein.

[0014] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Bilden einer kovalenten Bindung zwischen der Nanoröhre und dem leitfähigen Polymer durch eine Friedel-Crafts-Reaktion. Zu diesem Zweck kann das Derivatisieren der Nanoröhre durch Oxidation der Nanoröhre d. h. durch oxidierende Säuren oder Halogene erfolgen.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann das Oxidieren der Nanoröhre mit starker Säure erfolgen, beispielsweise mit Salpetersäure, Schwefelsäure, Chromsäure, Carosche Säure, Perhalogensäuren, organische Persäuren oder eine Kombination davon, sodass eine Carboxylgruppe an dem derivatisierten Ende der Nanoröhre gebildet wird.

[0016] Die so erzeugten Carboxylgruppen können dann durch Umsetzen mit einem zu diesem Zweck geeigneten Reagenz in das entsprechenden Säurehalogenid konvertiert werden. Hierbei ist die Umwandlung zum entsprechenden Säurechlorid am günstigsten, was beispielsweise durch Umsetzen der mit der Carboxylgruppen derivatisierten Nanoröhre mit  $\text{SOCl}_2$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{CCl}_4$  und  $\text{Ph}_3\text{P}$ ,  $\text{PhCOCl}$ ,  $\text{ClCOCOCl}$  oder  $\text{Cl}_2\text{CHOMe}$  erfolgen kann.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann alternativ hierzu die underivatisierte Nanoröhre durch Umsetzung mit einem stark chlorierend wirkenden Mittel zur chlorierten Nanoröhre direkt umgesetzt werden. Als Beispiele solcher chlorierend wirkenden Reagenzien kann zu diesem Zweck  $\text{Cl}_2$ , ( $\text{Cl}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ , ( $\text{TiCl}_4$  und  $\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$ ),  $\text{JCl}_3$  oder ( $\text{NaOCl}$  und  $\text{HOAc}$ ) verwendet werden. Alternativ dazu kann das direkte Chlorieren der Nanoröhre durch Chloreelektrolyse in Gegenwart der Nanoröhre erfolgen.

[0018] Die Nanoröhre, die entweder zum Säurechlorid umgesetzt oder mit Chlor wie oben beschrieben derivatisiert worden ist, kann dann mit einem Metallhalogenid als Friedel-Crafts-Katalysator der allgemeinen Formel  $\text{MX}_n$  in Gegenwart eines leitfähigen Polymers weiter zur Reaktion gebracht werden. Hierbei ist M ein Metall, X ist ein Halogenatom und  $1 \leq n \leq 5$ .

[0019] In diesem Zusammenhang kommen solche Halogenide in Betracht, die als Lewisäure wirken. Bevorzugte Metalle (M) zu diesem Zweck sind beispielsweise Aluminium, Eisen, Bor, Zink, Zirkonium, Antimon, Zinn oder Gallium. Hierbei sind als  $\text{MX}_n$ -Verbindungen  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{GaCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_3$ ,  $\text{ZrCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ , oder  $\text{SbCl}_3$  bevorzugt.

[0020] Für den Fall, dass die Nanoröhre mit einer Säurechloridgruppe derivatisiert worden ist, wird die Nanoröhre durch eine solche Behandlung über eine Carbonylgruppe an den Polymer kovalent gebunden.

[0021] Für den Fall, dass die Nanoröhre mit einem Chloratom derivatisiert worden ist, wird die Nanoröhre durch die obige Behandlung direkt an den Polymer kovalent gebunden, ohne dass es einer chemische Gruppe als Brückenglied zwischen der Nanoröhre und dem elektrisch leitfähigen Polymerbedarf.

[0022] In dieser Weise wird eine feste Bindung zwischen der Nanoröhre und dem elektrisch leitfähigen Polymer gebildet, so dass eine sichere, reproduzierbare elektrische Kontaktierung zwischen der Nanoröhre und dem Polymer gewährleistet wird.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine kovalente Bindung zwischen der Nanoröhre und dem Polymer mit Hilfe einer Grignard-Reaktion gebil-

det.

[0024] Gemäß dieser Ausgestaltung kann die Nanoröhre, wie oben beschrieben, chloriert oder alternativ durch Umsetzung mit beispielsweise  $\text{Br}_2$ -Dampf, ( $\text{Br}_2$  und  $\text{CCl}_4$ ) oder ( $\text{Br}_2$  und  $\text{CS}_2$ ) bromiert werden.

[0025] Alternativ kann die Nanoröhre auch durch Brom-elektrolyse bromiert werden.

[0026] Durch Umsetzung der so chlorierten oder bromierten Nanoröhren mit metallischem Magnesium in trockenem Lösungsmittel, wird die entsprechende, als Grignard-Reagenz reaktive Magnesiumchlorid-Nanoröhre oder Magnesiumbromid-Nanoröhre gebildet.

[0027] Wasserfreies Inkontaktbringen eines solchen Grignard-Reagenzes mit einem elektrisch leitfähigen Polymer, das im voraus mit zum Beispiel Aldehydgruppen derivatisiert worden ist, und nachfolgende Aufarbeitung mit Wasser und zum Beispiel wässrigem  $\text{HCl}$ , ergibt ein Produkt, bei dem die Nanoröhre über eine sekundäre Alkoholgruppe mit dem elektrisch leitfähigen Polymer kovalent gebunden ist.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann das elektrisch leitfähige Polymer durch vorherige Behandlung mit starker Säure wie zum Beispiel Salpetersäure, Schwefelsäure, Chromsäure, Carosche Säure, Perhalogensäuren, organischen Persäuren oder Kombinationen davon carboxyliert werden.

[0029] Anschließendes Reduzieren zum entsprechenden Polymer-Aldehyd kann beispielsweise durch Umsetzen des carboxylierten Polymers mit einem Reduktionsmittel, das zur partiellen Reduktion zum entsprechenden Aldehyd geeignet ist, erfolgen. Als Reduktionsmittel sind Aluminiumhydride bevorzugt, wie beispielsweise  $\text{LiAlH}_4$ ,  $\text{LiAlH}(\text{OEt})_3$ ,  $\text{LiAlH}(\text{Otert-But})_3$ , oder  $\text{LiAlH}_2(\text{iBu})_2$ . Alternativ dazu kann Tri-n-butylzinhydrid zu diesem Zweck verwendet werden.

[0030] Durch das kovalente Binden einer Nanoröhre über eine sekundäre Alkoholgruppe an dem elektrisch leitfähigen Polymer wird ebenfalls wie zuvor beschrieben eine feste elektrische Kontaktierung zwischen der Nanoröhre und dem elektrisch leitfähigen Polymer gewährleistet, so dass elektrische Messungen hinsichtlich der Leitfähigkeit der Nanoröhre reproduzierbar und relevant sind.

[0031] Ein Polymer ist mit einer Nanoröhre kovalent gebunden. Das Polymer kann elektrisch leitfähig sein. Als elektrisch leitfähiges Polymer kann beispielsweise Polypyrrol, Polyphenylen, Polythiophen oder Polyacetylen verwendet werden.

[0032] Ein mikroelektronisches Bauelement weist ein Polymer auf, an dem eine Nanoröhre kovalent gebunden ist. Die Nanoröhre kann direkt oder über eine Carboxylgruppe an dem Polymer gebunden sein. Das Polymer des mikroelektronischen Bauelements kann ein elektrisch leitfähiges Polymer sein, wobei das elektrisch leitfähige Polymer Polypyrrol, Polyphenylen, Polythiophen oder Polyacetylen sein kann.

[0033] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

[0034] Es zeigen:

[0035] Fig. 1a bis 1d eine schematische Darstellung einer Nanoröhre, die über einer Carboxylgruppe an einem elektrisch leitfähigen Polymer gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kovalent gebunden wird.

[0036] Fig. 2a bis 2g: eine schematische Darstellung der kovalenten Bindung einer Nanoröhre an einem elektrisch leitfähigen Polymer gemäß weiteren Ausführungsformen der Erfindung.

[0037] Fig. 1a zeigt eine underivatisierte Nanoröhre 100.

[0038] Die Nanoröhre 100 wird durch Umsetzen mit starker Säure, hier mit Salpetersäure an dem Längsende mit ei-

ner Carboxylgruppe 101 derivatisiert.

[0039] Das Produkt ist in Fig. 1b gezeigt. Die Reaktivität der Enden einer Nanoröhre 100 gegenüber Derivatisieren ist höher als die Reaktivität der dazwischenliegenden Längsflächen der im wesentlichen zylinderförmigen Nanoröhre.

[0040] Umsetzen dieser Carboxylgruppe mit  $\text{SOCl}_2$  ergibt die entsprechende Säurechloridgruppe 102. Alternativ zu  $\text{SOCl}_2$  kann beispielsweise  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{CCl}_4$  und  $\text{Ph}_3\text{P}$ ,  $\text{PhCOCl}$ ,  $\text{ClCOCOCl}$  oder  $\text{Cl}_2\text{CHOMe}$  verwendet werden.

[0041] Das Säurechlorid-Produkt ist in Fig. 1c gezeigt.

[0042] Das in Fig. 1c dargestellte Säurechlorid-Produkt kann mit Hilfe einer Lewisäure wie zum Beispiel  $\text{AlCl}_3$  weiter umgesetzt werden.

[0043] Alternativ hierzu kommen andere Lewisäuren wie beispielsweise  $\text{GaCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_5$ ,  $\text{ZrCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{BCl}_3$ , oder  $\text{SbCl}_3$  in Betracht.

[0044] Hierbei wird auf bekannte Weise die Elektrophilizität des Kohlenstoff-Atoms der Säurechloridgruppe bei einer Reaktion mit Nukleophilen oder mit Elektronen in Doppelbindungenerhöht.

[0045] Das elektrisch leitfähige Polymer 103 stellt einen solchen Ort erhöhter Elektronendichte dar, an den auf bekannte Weise dann der Carbonyl-Kohlenstoff der Säurechloridgruppe 102 angreift. Hierdurch wird unter Abspalten des Chloratoms der Säurechloridgruppe eine kovalente Bindung zwischen dem Carbonyl-Kohlenstoff und einem Kohlenstoffatom des elektrisch leitfähigen Polymers gebildet.

[0046] Somit wird, wie in Fig. 1d gezeigt, die Nanoröhre 100 über einer Carbonylgruppe 104 mit dem elektrisch leitfähigen Polymer 103 kovalent gebunden, so dass eine feste Kontaktierung der Nanoröhre 100 mit dem elektrisch leitfähigen Polymer 103 gewährleistet ist (= Friedel-Crafts-Acylierung).

[0047] Fig. 2a zeigt die underivatisierte Nanoröhre 200.

[0048] Die underivatisierte Nanoröhre 200 wird durch Umsetzen mit  $\text{Cl}_2$  zu einer Nanoröhre konvertiert, an deren Enden mindestens ein Chloratom 201 aufgebracht ist.

[0049] Ein solches mit Chlor derivatisiertes Produkt ist in Fig. 2b gezeigt.

[0050] Alternativ hierzu könnte die Nanoröhre auch durch Umsetzen mit  $\text{Br}_2$  zu dem entsprechenden, an seinem Enden mit Brom derivatisierten Produkt konvertiert werden.

[0051] Fig. 2c zeigt das Ergebnis der Umsetzung einer solchen mit einem Chloratom 201 derivatisierten Nanoröhre 200 mit einem elektrisch leitfähigen Polymer 203 in Gegenwart einer Lewisäure, wie zum Beispiel  $\text{AlCl}_3$ .

[0052] Alternative hierzu können andere Lewisäuren wie beispielsweise  $\text{GaCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_5$ ,  $\text{ZrCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{BCl}_3$ , oder  $\text{SbCl}_3$  zu diesem Zweck verwendet werden.

[0053] Wie aus Fig. 2c ersichtlich, wird die aufgrund der Friedel-Crafts-Reaktion gebildete Bindung zwischen der Nanoröhre 200 und dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 unmittelbar, dass heißt ohne verbrückende chemische Gruppe, zwischen der Nanoröhre 200 und dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 gebildet (= Friedel-Crafts-Alkylierung).

[0054] Eine solche direkte Verbindung zwischen der Nanoröhre 200 und dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 ist hinsichtlich der festen, beständigen Kontaktierung für elektrische Messungen besonders vorteilhaft.

[0055] Fig. 2d zeigt den Fall, dass die mit dem Chloratom 201 an ihrem Ende derivatisierte Nanoröhre 200 unter wasserfreien Bedingungen mit Magnesium-Metall umgesetzt wird, so dass das entsprechende Magnesiumchlorid-Grignard-Reagenz gebildet wird. Für den Fall, dass die Nanoröhre 200 mit Brom derivatisiert wurde, wird statt das Magnesiumchlorid-Grignard-Produkt das Magnesiumbromid-

Grignard-Produkt gebildet.

[0056] Fig. 2e zeigt die von Fig. 2a, Fig. 2b und Fig. 2d getrennte Reaktionsabfolge, bei der das elektrisch leitfähige Polymer 203 zunächst mit starker Säure, in diesem Fall Salpetersäure, umgesetzt wird, so dass das elektrisch leitfähige Polymer 203 mit einer Carboxylgruppe 204 derivatisiert wird.

[0057] Das Produkt einer solchen Carboxylierung ist in Fig. 2f gezeigt.

[0058] Diese Carboxylgruppe 204 auf dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 kann dann mit einem bekannten Reduktionsreagenz, zum Beispiel gemäß diesem Ausführungsbeispiel  $\text{LiAlH}_4$  (DIBAL), zum entsprechenden Aldehyd 205 auf dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 umgesetzt werden.

[0059] Alternativ hierzu kann  $\text{LiAlH}_4$ ,  $\text{LiAlH}(\text{OEt})_3$ ,  $\text{LiAlH}(\text{Otert-But})_3$ , oder Tri-n-butylzinnhydrid zum Reduzieren der Carboxylgruppe verwendet werden.

[0060] Anschließendes Umsetzen der als Grignard-Reagenz wirkenden Nanoröhre aus Fig. 2d mit dem als Aldehyd derivatisierten elektrisch leitfähigen Polymer unter wasserfreien Bedingungen ergibt dann ein Produkt, bei dem die Nanoröhre 200 über eine sekundäre Alkoholgruppe 206 mit dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 kovalent gebunden ist. Das Sekundäralkoholprodukt ist in Fig. 2g gezeigt.

[0061] In dieser Weise wird ebenfalls wie bei den in Fig. 2c und Fig. 1d dargestellten Produkten eine feste reproduzierbare Kontaktierung zwischen der Nanoröhre 200 und dem elektrisch leitfähigen Polymer 203 gewährleistet, so dass elektrische Messungen der Leitfähigkeit der Nanoröhre 200 zuverlässig werden.

[0062] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] P. M. Ajayan, Nanotubes from Carbon, Chem. Rev. 99, S. 1787-1799, 1999

[2] W. Han et al. Synthesis of Boron Nitride Nanotubes From Carbon Nanotubes by a substitution Reaction, Applied Physics Letters, Volume 73, Number 21, S. 3085-3087, November 1998

[3] R. Martel et al. Single- and Multi-Wall Carbon Nanotube Field-Effect Transistors, Applied Physics Letters, Volume 73, Number 17, S. 2447-2449, October 1998

#### Bezugszeichenliste

100 Nanoröhre  
101 Carboxylgruppe  
102 Säurechloridgruppe  
103 Elektrisch leitfähiges Polymer  
104 Verbindende Carbonylgruppe  
200 Nanoröhre  
201 Chloratom  
202 Magnesiumchlorid Grignard-Reagenz  
203 Elektrisch leitfähiges Polymer  
204 Carboxylgruppe auf dem elektrisch leitfähigem Polymer  
205 Aldehydgruppe auf dem elektrisch leitfähigem Polymer  
206 Verbindende sekundäre Alkoholgruppe, die aus der Grignard-Reaktion resultiert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Binden einer Nanoröhre an einem Polymer, aufweisend folgende Schritte:
  - Derivatisieren eines Endes der Nanoröhre mit einer chemisch reaktiven Gruppe;
  - Umsetzen der so derivatisierten Nanoröhre mit einem Polymer derart, dass zwischen der Nano-

röhre und dem Polymer über die chemisch reaktive Gruppe eine kovalente Bindung gebildet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine mit Bornitrid dotierte Nanoröhre ist.

3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem das Derivatisieren durch Oxidieren oder durch Halogenieren der Nanoröhre erfolgt.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem das Oxidieren durch Umsetzen mit einer starken Säure erfolgt.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei dem als starke Säure Salpetersäure, Schwefelsäure, Chromsäure, Carosche Säure, Perhalogensäuren, organische Persäuren oder eine Kombination davon verwendet wird.

6. Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, bei dem das Umsetzen mit einer oder mit einer Kombination der starken Säuren bei Raumtemperatur oder bis zur Siedetemperatur des jeweiligen Reaktionsgemisches erfolgt.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem die durch Oxidierung gebildete chemisch reaktive Gruppe eine Carboxylgruppe ist.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, bei dem vor dem weiteren Umsetzen die Carboxylgruppe zum entsprechenden Säurehalogenid umgesetzt wird.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem das Säurehalogenid ein Säurechlorid ist, das durch Umsetzung der Carboxylgruppe an der Nanoröhre mit  $\text{SOCl}_2$ ,  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{CCl}_4$  und  $\text{Ph}_3\text{P}$ ,  $\text{PhCOCl}$ ,  $\text{ClCOCOCl}$  oder  $\text{Cl}_2\text{CHOMe}$  gebildet wird.

10. Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem das Halogenieren der Nanoröhre das Chlorieren oder das Bromieren der Nanoröhre ist.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, bei dem das Chlorieren durch Umsetzung der Nanoröhre mit  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{TiCl}_4$  und  $\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$ , oder  $\text{NaOCl}$  und  $\text{HOAc}$ , oder durch Chlorelektrolyse in Gegenwart der Nanoröhre erfolgt.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Reaktion der derivatisierten Nanoröhre mit dem Polymer in Gegenwart einer Verbindung der allgemeinen Formel  $\text{MX}_n$  erfolgt, wobei M ein Metallatom und X ein Halogenatom ist, und wobei  $1 \leq n \leq 5$ .

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem das Metall Aluminium, Eisen, Bor, Zink, Zirkonium, Antimon, Zinn oder Gallium ist.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem als Verbindung der allgemeinen Formel  $\text{MX}_n$   $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{GaCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_3$ ,  $\text{ZrCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ , oder  $\text{SbCl}_3$  verwendet wird.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem als Polymer ein elektrisch leitfähiges Polymer verwendet wird.

16. Verfahren gemäß Anspruch 15, bei dem als elektrisch leitfähiges Polymer

- Polypyrrol,
- Polyphenylen,
- Polythiophen, oder
- Polyacetylen

verwendet wird.

17. Verfahren gemäß Anspruch 10, bei dem das Chlorieren durch Umsetzen der Nanoröhre mit  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SOCl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$  oder durch Chlorelektrolyse bzw. das Bromieren durch Umsetzen mit  $\text{Br}_2$  oder durch Bromelektrolyse erfolgt.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem die mit Chlor bzw. mit Brom derivatisierte Nanoröhre mit metallischem Magnesium in trockenem Lösungsmittel

umgesetzt wird.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem vor dem Schritt der Nanoröhren-Polymer-Bindungsbildung das Polymer derivatisiert wird.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, bei dem das Derivatisieren des Polymers das Oxidieren des Polymers umfasst. 5

21. Verfahren gemäß Anspruch 20, bei dem das Oxidieren des Polymers das Umsetzen des Polymers mit starker Säure umfasst. 10

22. Verfahren gemäß Anspruch 21, bei dem als starke Säure

- Salpetersäure,
- Schwefelsäure,
- Chromsäure,
- Carosche Säure,
- Perhalogensäuren,
- organische Persäuren, oder
- eine Kombination davon 15

verwendet wird. 20

23. Verfahren gemäß Anspruch 22, bei dem als das elektrisch leitfähige Polymer

- Polypyrrol,
- Polyphenylen,
- Polythiophen, oder
- Polyacetylen 25

verwendet wird.

24. Verfahren gemäß Anspruch 23 bei dem die durch Oxidierung gebildete chemisch reaktive Gruppe auf dem Polymer eine Carboxylgruppe ist. 30

25. Verfahren gemäß Anspruch 24, bei dem vor dem Schritt der Nanoröhren-Polymer-Bindungsbildung die Carboxylgruppe auf dem Polymer weiterhin zur entsprechenden Aldehydgruppe reduziert wird.

26. Verfahren gemäß Anspruch 25, bei dem zum Reduzieren  $\text{LiAlH}_4$ ,  $\text{LiAlH}(\text{OEt})_3$ ,  $\text{LiAlH}(\text{Otert-But})_3$ ,  $\text{LiAlH}_2(\text{iBu})_2$  oder Tri-n-butylzinnhydrid verwendet wird. 35

27. Verfahren gemäß Anspruch 26, bei dem die Bindungsreaktion der Nanoröhre, die gemäß Anspruch 18 derivatisiert worden ist, mit dem Polymer, das gemäß Anspruch 26 derivatisiert worden ist, in trockenem Lösungsmittelerfolg. 40

28. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 19 bis 27, bei dem als Polymer ein elektrisch leitfähiges Polymer verwendet wird. 45

29. Verfahren gemäß Anspruch 28, bei dem als elektrisch leitfähiges Polymer

- Polypyrrol,
- Polyphenylen,
- Polythiophen, oder
- Polyacetylen 50

verwendet wird.

30. Polymer, an dem eine Nanoröhre kovalent gebunden ist. 55

31. Polymer gemäß Anspruch 30, bei dem das Polymer ein elektrisch leitfähiges Polymer ist.

32. Polymer gemäß Anspruch 31, bei dem das elektrisch leitfähige Polymer

- Polypyrrol,
- Polyphenylen,
- Polythiophen, oder
- Polyacetylen 60

ist.

33. Mikroelektronisches Bauelement, aufweisend ein Polymer, an dem eine Nanoröhre kovalent gebunden ist. 65

34. Mikroelektronisches Bauelement gemäß Anspruch

33, bei dem die kovalente Bindung eine direkte kovalente Bindung oder eine kovalente Bindung über eine Carbonylgruppe ist.

35. Mikroelektronisches Bauelement gemäß Anspruch 33 oder 34, bei dem das Polymer ein elektrisch leitfähiges Polymer ist.

36. Mikroelektronisches Bauelement gemäß einem der Ansprüche 33 bis 35, bei dem das elektrisch leitfähige Polymer

- Polypyrrol,
- Polyphenylen,
- Polythiophen, oder
- Polyacetylen

ist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

FIG 1A

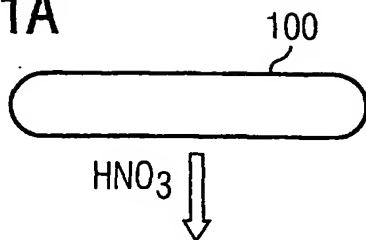


FIG 1B

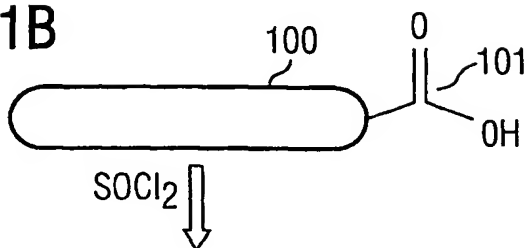
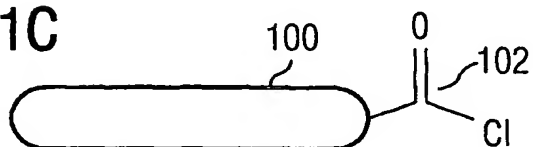


FIG 1C



$\text{AlCl}_3$

+

103

H—  
Leit-  
Polymer

FIG 1D

